МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.762.2:519.6

А.В. ЛЮЛЬКО, Б.Б. ЖМАЙЛОВ

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА СВОЙСТВ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представлены результаты исследования свойств поликомпонентных порошковых материалов, формируемых из отдельных ингредиентов в факторном пространстве «состав-свойства» на плоской симплексной диаграмме. При этом на основе общих принципов построения информационно-аналитической системы (ИАС) найдено решение частных задач проектирования и анализа свойств композиционных материалов систем <Fe-Cu-C>, <Fe-S-O>, <Fe-S-C> для изделий машиностроения.
Ключевые слова: *композиционные материалы, порошковые микрокомпозиты, моделирование, симплексные диаграммы, «состав-свойства».*

Введение. Эффективное использование композиционных материалов, изготовление которых базируется на технологии порошковой металлургии как метода создания новых и совершенствовании традиционных поликомпонентных материалов, может быть значительно повышено за счет разработки и использования приемов адаптивного проектирования . Из многочисленных методов моделирования поведения материалов от условий их композиционирования (собственно подюора составов и структурного состояния матрицы и подкомпонентов) и технологических параметров воздействия (температуры, времени, степени деформации) безусловные преимущества прикладного характера имеют приемы проектирования в тесной связи взаимодействия «состав-свойства», описываемые формальными или оригинальными функциональными зависимостями по диаграммам типа «симплекс» с использованием аппарата математической статистики [7,8]. При этом технологическое обеспечение «поликомпонентности» материала не вызывает никаких трудностей вследствие дисперсного состояния исходных продуктов (элементарных порошков, микрокомпозитов с подкомпонентами, гранулята и т.п.), а их пропорциональное соотношение определяется достаточно строгими правилами построения симплексных диаграмм и положением узловых точек (см. рис.1). На этой основе по мере накопления экспериментальных и виртуальных результатов могут быть построены информационно-аналитические системы (ИАС) композиционных материалов, являющиеся как банком отработанных технологических решений, так и базисом для новых изысканий.

Методика исследований. Задача настоящей работы состоит в использовании такого подхода при разработке ИАС для исследования свойств поликомпонентных смесей порошковых ингредиентов и их реального наглядного отображения на симплексных диаграммах, для построения которых предлагаются новые алгоритмы решения, способы хранения и обработки данных на основе технологий Java и XML [7-10].

Результаты исследования заключаются в установлении зависимости между входными параметрами – массовыми, объёмными или геометрическими (например, по поверхности шлифа или имидж- изображениями фрактограммы) долями исходных смесей и выходными параметрами – свойствами полученного материала и в определении уровней (точек) исходных компонентов, оптимизирующих получение материала с теми или иными свойствами. Данные задачи решаются планированием эксперимента на конкретных диаграммах «состав – свойство» [4,5].

В данном случае при исследовании системы компонентов на основе железа типа <Fe-Cu-C>, <Fe-Sn-P>, <Fe-S-C> используется активный эксперимент и стохастическая (вероятностно-статистическая) модель. Связь между входными и выходными параметрами системы описывается полиномом. Для оценки коэффициентов полинома, аппроксимирующего действительную зависимость (функцию отклика), необходимо располагать статистическим материалом, характеризующим состояние системы в процессе функционирования. Эту информацию получают путем активного вмешательства в функционирование системы и постановки опытов в определенных точках (x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}), j = 1,2,..., k, где j - номер опыта, x_{1j}, x_{2j}, x_{3j} - концентрация каждого компонента в экспериментальной точке в допустимой области пространства управляемых параметров.

Таким образом, основным объектом системы, готовящимся заранее по требованию (желанию) проектировщика и/или заказчика (потребителя), является матрица планирования эксперимента (МПЭ), которая создается на основании выбранной математической модели «состав – свойство» и, свою очередь, описывается приведенным полиномом соответствующей степени, кроме того, в качестве исходных данных для ее построения указывается концентрация компонентов порошковой смеси (рис.1).

Матрица планирования 2

№ опыта	Коордтина...	Z1	Z2	Z3	X1	X2	X3	Отклик-Y2	Знач.-Y2	Коэф.-Y2	Знач.Коэф....
1	X1	1.0	0.0	0.0	98	1	1.0	Y1	0.023	b1	0.023
2	X2	0.0	1.0	0.0	94	5.0	1.0	Y2	0.033	b2	0.033
3	X3	0.0	0.0	1.0	94	1	5.0	Y3	0.043	b3	0.043
4	X122	0.33333334	0.6666667	0.0	95.333336	3.6666667	1.0	Y122	0.056	b12	0.08775
5	X133	0.33333334	0.0	0.6666667	95.333336	1	3.6666667	Y133	0.0231	b13	-0.01327
6	X233	0.0	0.33333334	0.6666667	94	2.3333335	3.6666667	Y233	0.0253	b23	0.00968
7	X112	0.6666667	0.33333334	0.0	96.666664	2.3333335	1.0	Y112	0.039	g12	-0.09225
8	X113	0.6666667	0.0	0.33333334	96.666664	1	2.3333335	Y113	0.037	g13	0.13883
9	X223	0.0	0.6666667	0.33333334	94	3.6666667	2.3333335	Y223	0.055	g23	0.22297
10	X123	0.33333334	0.33333334	0.33333334	95.333336	2.3333335	2.3333335	Y123	0.018	b123	-0.65745

Рис.1. Заполненная на ПК матрица планирования эксперимента

Обсуждение результатов. На основании данных, представленных в МПЭ (через реальный или виртуальный, мысленный, эксперимент), строятся контурные кривые отклика на симплекс-диаграмме. На практике исследование одного отклика не всегда позволяет в полной мере выполнить здесь же анализ других свойств смесей. Самый простой выход – создание аналогич-

ной МПЭ с теми же концентрациями, но для другого отклика. Так исследовалась традиционная [9,10] система Fe-Cu-C (Cu – 1-3%,C – 0-2%, Fe – 97-99%, рис.2), в качестве откликов фиксировались: насыпная плотность – Y1 и уплотняемость при 7 т/см^2 – Y2. На первом этапе МПЭ заполняли экспериментальными данными, расчитывали коэффициенты полинома и проверяли адекватность модели.

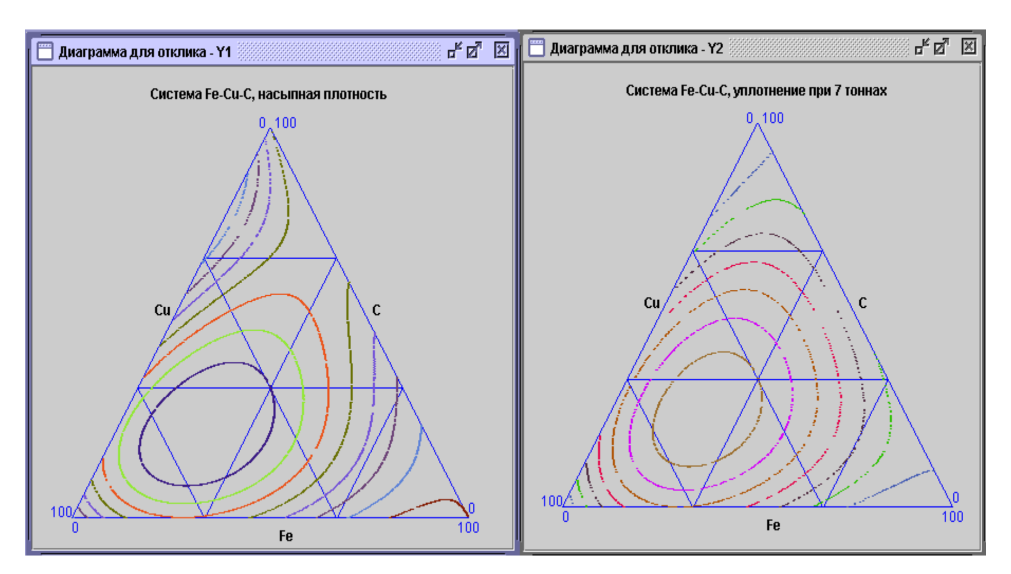
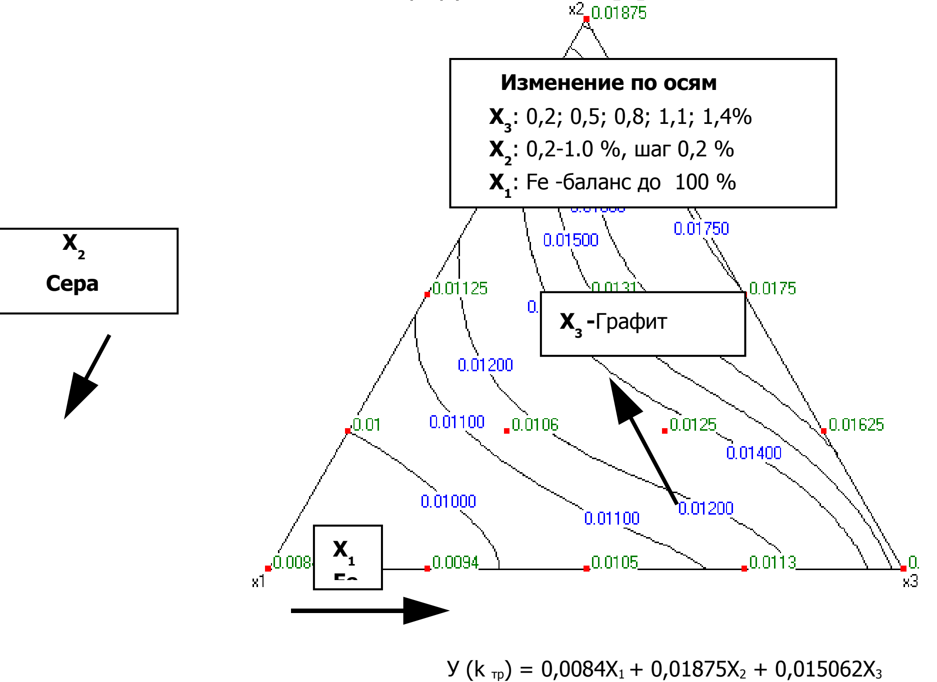


Рис. 2. Построение уровней отклика Y1 и Y2 системы элементов < Fe-Cu-C>

На сновании полученных и обработанных экспериментальных данных были построены две характеристики объекта, в данном случае совокупности порошковых многокомпонентных материалов системы <Fe-Cu-C>, заключающиеся в том, что графики (изолинии выходов) и в первом, и во втором случае строятся с использованием одного и того же объекта, однако алгоритмы и исходные данные для построения различны. Так, для всего диапазона значений функции были построены графики на симплексном плане с заданным шагом по отклику (см. рис.2): Y1 - насыпной плотности и Y2 –уплотняемости (прессуемости) при давлении прессования 7 т/см^2. После чего происходит проверка адекватности модели (по контрольным точкам эксперимента) на основании критерия Фишера и проверка значимости коэффициентов полинома с помощью критерия Стьюдента, поскольку считается, что погрешности модели имеют нормальное распределение [7,8].

Такая интерпретация позволяет легко и наглядно выполнить графически многокритериальную оптимизацию, а именно: возможно наложение представленных двух (и более) изображений друг на друга и выявление совпадающих точек и областей. Так, совершенно очевидна корреляционная зависимость насыпной плотности шихты и ее важнейшей характеристики –уплотняемости (прессуемости), что дает основание уже в первом технологическом приеме – композиционировании (смешивание компонентов, осаждение подкомпонентов на матричную основу) выбрать благоприятное сочетание ингредиентов. Например, использовать вместо отдельных порошков или «легкого» элементарного фосфора, или серы специальные

микрокомпозиты типа «Fe-Fe/P-O», «Fe-Cu/P-C» «Fe-S-O», получаемые термосинтезом в вибрирующем слое [6].



$$У\ (k_{тр}) = 0{,}0084X_1 + 0{,}01875X_2 + 0{,}015062X_3 - 0{,}0093X_1X_2 - 0{,}006X_1X_3 + 0{,}0013X_2X_3$$

Рис.3. Изменение коэффициента трения $k_{тр}$ композиционных материалов < Fe- S -C > (показаны семь уровней изолиний и дискретные значения $k_{тр}$ в узловых точках) и математическая интерпретация результатов квадратичной зависимостью

Другой возможностью и эффективным результатом адаптивного проектирования является возможность построения сколь угодно большого семейства изолиний (может быть задействовано более 1 млн.точек построенной и функционирующей ИАС). При этом шаг построения зависимостей может быть настолько подробным, что совершенно наглядно проявляются все «спорные» зоны симплекса , а из них легко выбирается наиболее благоприятная по визуальному фактору. Так, в примере анализа коэффициента трения (рис.3) композиционных материалов системы «Fe-S-C» на основе микрокомпозитов с серой «Fe-S-O» легко установить область со значениями $k_{тр}$ <0,001 - левый нижний угол симплексной диаграммы – и предложить состав материала, как то «Fe-(0,5-1,0)%S-(0,2-0,5)%C», для изготовления антифрикционных втулок-вкладышей, подпятников, направляющих штоков для работы в режиме самосмазывания в открытых узлах механизмов.

Выводы. Таким образом, предложенный объектно-ориентированный подход проектирования поликомпонентных композиционных материалов является весьма практичным и достаточно универсальным, так как может быть не только использован при планировании экспериментов в порошковой металлургии, но и распространен на другие области: строительные материалы, химию, металловедение, сварку, фармацевтику и др., на основе

чего могут создаваться локальные, а в перспективе и глобальная информационно-аналитическая открытая системы.

Библиографический список

1. Жмайлов Б.Б., Люлько А.В..и др. Проектирование многокомпонентных порошковых материалов по симплекс-диаграммам и оптимизация их свойств // Свид-во о регистр. прогр. для ЭВМ №2005611225. Бюл.ФИПС. - М. - №3. – 2005. - С.109.
2. Люлько В.Г., Жмайлов Б.Б., Люлько А.В. и др. Компьютерное моделирование функциональных характеристик многокомпонентных материалов по симплекс-диаграммам "состав-свойство" // Свид-во о регистр. прогр. для ЭВМ №2005611224. Бюл.ФИПС. - М. - №3(52). – 2005. - С.110
3. http://www.javaportal.ru/java/articles/dataJTable.html. – Жмайлов Б.Б. Особенности работы с представлением данных и манипуляциями со столбцами в объекте Jtable.
4. Жмайлов Б.Б. Система планирования эксперимента с помощью симплексных решеток. // Журнал "PC Magazine/ Russian Edition". – 2005. - №4. – С.136.
5. Жмайлов Б.Б., Люлько А.В. и др. Приложение графо-аналитического метода анализа порошковых материалов по симплексным диаграммам к практическим задачам // Матер. междунар. н.–техн. конф., п.Славское, 23-26 февр.- Киев, 2005. – С.112-114.
6. Lyulko V.G., . Jmailov B.B, Lyulko A.V. et. al Perfection of graphic-analytical method for the complex analysis of powder materials under simplex polycomponental diagrams // Plansee-Seminar-2005. Proceedings .Vol.1. Reute. Tirol. - PP.1117-1125.
7. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. - М.: Наука, 1976. – 390 с.
8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 280 с.
9. Металлические порошки и порошковые материалы: Справочник / Б. Н. Бабич, Е.В.Вершинина, В. Г.Люлько и др. Ред. Ю.В.Левинский. - М.: ЭКОМЕТ, 2005. - 520 с.: ил.
10. Design and Capabilities of PM Components and Materials. // Powder metallurgy Training Courses. Aachen, Germany 3-11 Sept.2005. - 722 P.

Материал поступил в редакцию 20.12.06.

A. V.LYULKO, B.B.JMAJLOV

REALIZATION OF DESIGN PRINCIPLES AND THE ANALYSIS OF PROPERTIES POLYCOMPONENTAL COMPOSITE MATERIALS

Results of research of properties of the polycomponental powder materials formed of separate components in factorial space of "mixing - property" on the flat simplex diagram are submitted. Thus on the basis of the general principles of construction of information-analytical system (IAS) the decision of individual problems of designing and the analysis of properties of composite materials of systems <Fe-Cu-C>, <Fe-S-O>, <Fe-S-C> for mechanical engineering is submitted.

ЛЮЛЬКО Артем Валерьевич (р.1977), инженер-механик (1999), магистр техники и технологий (2000) по направлению «Металлорежущие станки и инструмент». Работает в отделе «Изностойкие покрытия и порошковая металлургия предприятия «Синтез» при ДГТУ с 1999 г. После службы по призыву в Вооруженных силах РФ возглавил (2003 г.) лабораторию «Порошковой металлургии».
Научные интересы: общая технология порошковой металлургии, моделирование процессов формирования свойств композиционных материалов, в том числе инструментальных покрытий, информационные технологии в технике.
Автор более 20 печатных работ, в том числе в международных изданиях конференций и симпозиумов. Действительный член Европейской ассоциации порошковой металлургии (ЕПМА), лауреат гранта и сертификата ЕПМА на обучение в школе молодых исследователей (Ахен, Германия, 2005 г.), участник международного (Австрия-Россия-Украина) проекта Евросоюза по порошковым материалам (2004-2007 гг.). E-mail: *atmly@mail.ru.*

ЖМАЙЛОВ Борис Борисович (р.1971), кандидат технических наук , доцент кафедры «Информатика» ДГТУ. Окончил ДГТУ (1993) по спец. «Сварочное производство».
Научные интересы: информационные технологии в технике, создание информационно-аналитических систем, технология композиционных материалов для машиностроения и электротехники, общая технология порошковой металлургии, моделирование технологических процессов.
Автор более 60 печатных работ, в том числе в международных изданиях конференций и симпозиумов, открытых сайтах WWW, реферируемых журналах. Лауреат конкурса компьютерных программ на платформе Java фирмы «Sun Microsystems» . E-mail: *bbj2001@mail.ru.*